

УДК 539.216.2:661.685

Ю.М. Макогон, Ю.В. Кудрявцев,
О.П. Павлова, С.І. Сидоренко,
Т.І. Вербицька

ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ФАЗОУТВОРЕННЯ В БАГАТОШАРОВІЙ ПЛІВКОВІЙ КОМПОЗИЦІЇ [Ta(3,3 нм)/Si(6,6 нм)]₄₅/Si(001) ТА ЇЇ ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Вступ

Плівки дисиліцидів перехідних металів широко застосовуються як функціональні елементи надвеликих інтегральних схем і мікроприладів завдяки тому, що мають металічний характер провідності і вищу порівняно з металами термічну і хімічну стійкість. Цілий ряд наукових досліджень було присвячено формуванню плівки дисиліциду TaSi₂ як в процесі кристалізації з аморфного стану після розпорошення мішені складу TaSi₂ на монокристалічний або полікристалічний кремній, так і в результаті взаємодії осадженої плівки Ta і Si-підкладки в умовах термічного впливу [1–12]. Було встановлено закономірності формування кристалічної структури плівки TaSi₂ в одношарових плівкових композиціях Ta/Si і (Ta + Si)/Si, досліджено кінетику і механізми твердотільних реакцій, морфологію поверхні і межу розділу “силіцидна плівка TaSi₂ / підкладка Si”.

У зв'язку з тим, що одношарові плівки не завжди можуть забезпечити комплекс властивостей, які б задовольняли вимоги матеріалознавців, конструкторів і технологів, останнім часом увага вчених прикута до багатошарових періодичних плівкових композицій з шарами перехідного металу і кремнію, що чергуються, завтовшки по кілька нанометрів на монокристалічному кремнії [13–16]. Багатошарові періодичні структури метал/кремній використовуються як вироби мікроелектроніки і як оптичні елементи для м'якого рентгенівського діапазону. Вони перспективні для виготовлення рентгенівських дзеркал, приладів рентгенівської та нейтронної оптики. Але закономірності процесів формування структури, фазового складу і властивостей багатошарових періодичних структур з шарами нанометрового діапазону товщин (до 10 нм) в умовах термічного впливу встановлено не повною мірою. Тому дослідження процесів фазоутворення в результаті перебігу твер-

дотільних термічноактивованих реакцій у багатошарових періодичних нанорозмірних плівкових композиціях, зокрема Ta/Si/Ta/Si/.../Si(001), становить великий як науковий, так і практичний інтерес та набуває особливого значення для розвитку нанотехнологій.

Постановка задачі

Мета даної статті – вивчення процесів силіцидоутворення в результаті перебігу термічно-активованих твердотільних реакцій у нанорозмірній періодичній багатошаровій плівковій композиції (БПК) [Ta(3,3 нм)/Si(6,6 нм)]₄₅/Si(001).

Методика експерименту

Багатошарову періодичну (45 бішарів) плівкову композицію [Ta(3,3 нм)/Si(6,6 нм)]₄₅/Si(001) було одержано методом послідовного магнетронного розпорошення мішеней Ta і Si на підкладку монокристалічного кремнію орієнтації (001) при кімнатній температурі. Співвідношення товщин шарів Ta і Si вибиралося так, щоб у середньому за об'ємом плівки одержати склад дисиліциду TaSi₂. Верхнім шаром у плівковій наноструктурі був шар танталу. Зразки БПК [Ta(3,3 нм)/Si(6,6 нм)]₄₅/Si(001) були відпалені у вакуумі $\sim 1,3 \cdot 10^{-3}$ Па в інтервалі температур 470–1170 К, а її структурні і фізичні властивості вивчалися після кожного етапу відпалу. Тривалість відпалу при кожній температурі становила одну годину. Дослідження структури плівок проводились методами рентгенівської дифракції на великих кутах з використанням фотографічної камери Дебая–Шерера у випроміненні кобальту і хрому. Оптичні властивості (оптична провідність: $\sigma = \varepsilon_2 \times \omega / 4\pi$, де ε_2 – уявна частина діагональних компонент тензора діелектричної проникності $\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz} = \varepsilon = \varepsilon_1 - i\varepsilon_2$) БПК [Ta(3,3 нм)/Si(6,6 нм)]₄₅/Si(001) після осадження і термообробки вивчалися при кімнатній температурі методами вимірювання коефіцієнта відбиття під час нормального падіння і спектральної еліпсометрії в енергетичній області 0,5–4,7 еВ. Деталі вимірювання оптичних властивостей плівок наведено в [17]. Теоретичне моделювання оптичних властивостей БПК проводилося точним розв'язком за допомогою матриць розсіювання задачі поширення світла через БПК із врахуванням багаторазового відбиття його від меж розділу [18]. При моделюванні було використано дві моделі

БПК Ta/Si. Перша з них передбачала, що БПК Ta/Si має шари танталу і кремнію номінальної товщини з різкою межею розділу між ними. Для моделювання необхідно знати оптичні властивості шарів і складові БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$. З цією метою плівки Ta і Si завтовшки 200 і 620 нм, відповідно, були осаджені в однакових умовах, а потім їх оптичні властивості вивчалися при кімнатній температурі. У другій моделі БПК Ta/Si передбачалось, що весь шар металу витрачено на реакцію з кремнієм. У цій моделі було використано табличні оптичні сталі сплаву $\text{Ta}_{0,33}\text{Si}_{0,67}$ [19]. Резистометричні дослідження виконано з використанням чотиризондового методу.

Результати і їх обговорення

Згідно з результатами рентгенівських досліджень структури плівок після одержання БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ перебувають в аморфному стані (рис. 1, а).

Такий результат може свідчити про відсутність перебігу твердотільних реакцій під час осадження плівок і формування аморфної структури в БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ (як, наприклад, було показано для БПК Fe/Zr в [20]). В той же час, якщо товщини кристалічних

шарів, з яких складається БПК, менші, ніж товщина кореляції, результуючий рентгенівський спектр має вигляд аморфного. Але висновок про структуру БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ після їх осадження було також зроблено на підставі порівняння її оптичних властивостей з оптичними властивостями кристалічних компонентів, з яких складається БПК, тобто з оптичними властивостями Ta і Si. Відомо, що спектр оптичної провідності Ta характеризується існуванням потужних смуг міжзонного поглинання (або уявної частини діелектричної проникності), який має максимуми в околі 2,5 і 5,2 еВ. У той же час, спектр ϵ_2 кристалічного кремнію має інтенсивні піки в околі 3,5 і 4,5 еВ. У спектрах діелектричної проникності ϵ_2 та оптичної провідності $\sigma(\hbar\nu)$ для БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ ніяких особливостей в інтервалі 2–3,5 еВ не спостерігається (рис. 2).

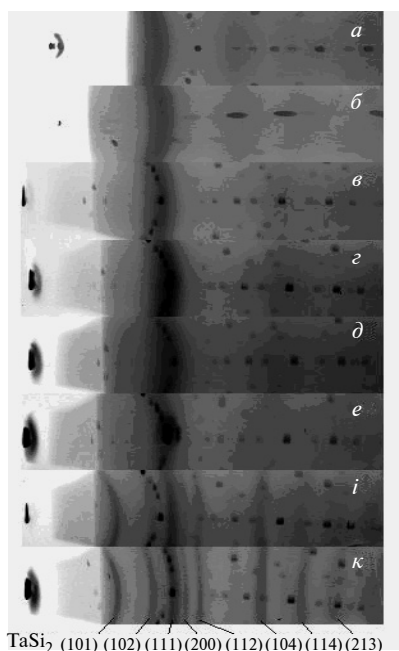


Рис. 1. Рентгенограми зразка БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ після осадження (а) і відпалів у вакуумі $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па при температурах 470 К (б), 570 К (в), 670 К (з), 870 К (д), 970 К (е), 1070 К (і), 1170 К (к) протягом однієї години, одержаних у випромінненні кобальту (а, б) і хрому (в–к)

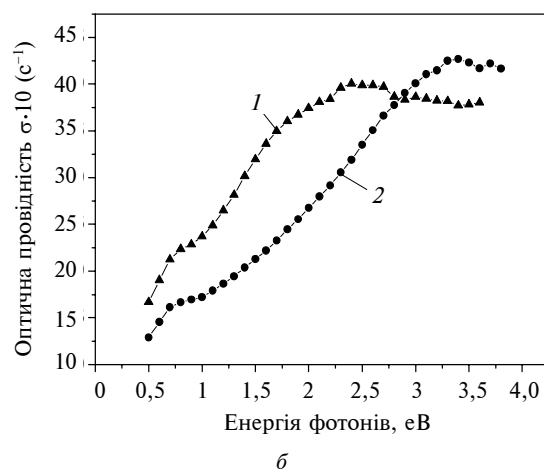
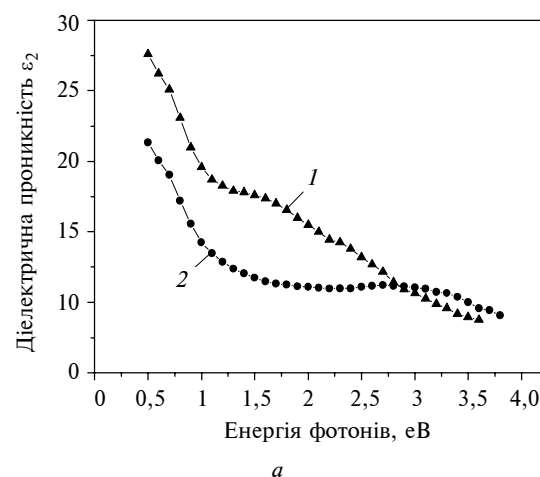


Рис. 2. Спектри діелектричної проникності $\epsilon_2(\hbar\nu)$ (а) і оптичної провідності (б) БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$: 1 – у кристалічному стані; 2 – в аморфному стані

Для аморфного зразка БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ у спектрі $\varepsilon_2(\hbar\nu)$ відсутні будь-які помітні особливості, що могли б бути проявом смуг міжзонного поглинання. Це дає можливість зробити висновок, що БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ після осадження не містить у собі кристалічних шарів Ta і Si. Звертає на себе увагу факт росту діелектричної проникності із зменшенням енергії фотонів. Така поведінка характерна для напівпровідників або для істотно розупорядкованих (або аморфних) металів. В той же час, коефіцієнт відбиття БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ після осадження демонструє значне зростання із зменшенням енергії фотонів (рис. 3, а). На відміну від напівпровідників ця властивість характерна для металів.

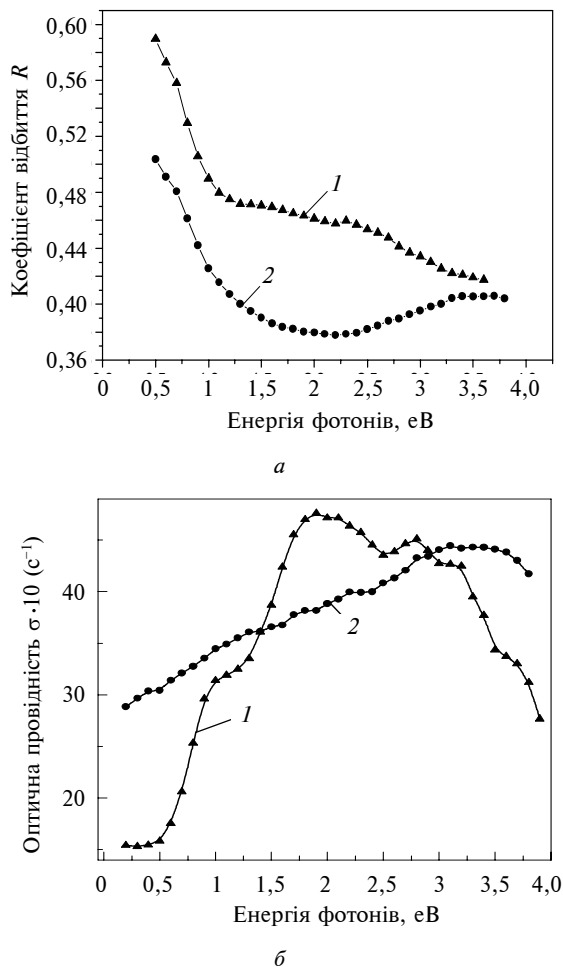


Рис. 3. Коефіцієнти відбиття $R(\hbar\nu)$ (а) і модельні спектри оптичної провідності $\sigma(\hbar\nu)$ (б) для БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$: 1 – у кристалічному стані; 2 – в аморфному стані

Модельні спектри оптичної провідності для БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$, отримані для моделі з різкою межею розділу між шарами Ta і Si номінальної товщини, мають інтенсивний пік поглинання в околі 2,5 еВ (який утворюється від підшару Si) та слабку особливість при 3,1–3,3 еВ, яка виникає від головного піка міжзонного поглинання Ta (рис. 3, б). Експериментальний спектр оптичної провідності осаджених БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ не має будь-яких помітних слідів, які стосуються піка поглинання Si в околі 2,5 еВ (рис. 4).

Цей факт, як і сильна невідповідність у формі між модельним та експериментальним ε_1 спектрами (рис. 4), дає нам змогу зробити висновок, що згадана вище модель БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$, яка передбачає різку межу розділу між шарами Ta і Si номінальної товщини, неадекватно описує дійсну структуру БПК після осадження.

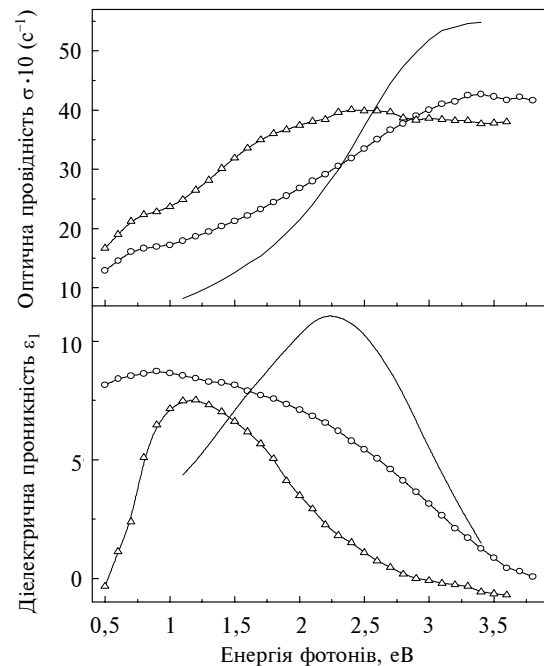


Рис. 4. Експериментальні і модельні спектри оптичної провідності $\sigma(\hbar\nu)$ та дійсної частини діелектричної проникності $\varepsilon_1(\hbar\nu)$ плівки сплаву TaSi_2 в кристалічному та аморфному станах: \circ — після осадження; \triangle — після відпалу; — — модель

На рис. 5 наведено спектри $\varepsilon_2(\hbar\nu)$ для плівок сплаву $\text{Ta}_{0,33}\text{Si}_{0,67}$ в кристалічному [19] та аморфному станах. Спектр $\varepsilon_2(\hbar\nu)$ для кристалічних зразків характеризується двома помітними

смугами поглинання (див. стрілки), розташованими в районі 1,4 і 2,25 еВ. У той же час, для аморфного зразка сплаву $\text{Ta}_{0,33}\text{Si}_{0,67}$ у спектрі $\varepsilon_2(\hbar\nu)$ відсутні будь-які помітні особливості, що могли б бути проявом смуг міжзонного поглинання.

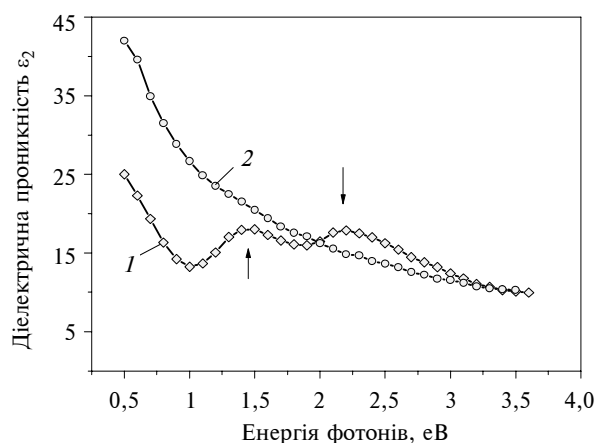


Рис. 5. Спектри діелектричної проникності $\varepsilon_2(\hbar\nu)$ плівок сплаву $\text{Ta}_{0,33}\text{Si}_{0,67}$: 1 – у кристалічному стані; 2 – в аморфному стані [19]

З порівняння спектрів $\varepsilon_2(\hbar\nu)$ плівок сплаву $\text{Ta}_{0,33}\text{Si}_{0,67}$ в аморфному стані і БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ після осадження можна помітити їх зовнішню подібність, тільки спектр БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ має меншу інтенсивність (рис. 6). Це дає можливість зробити висновок, що в БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ в процесі осадження формуються аморфні області із структурою ближнього порядку, подібною до аморфного сплаву $\text{Ta}_{0,33}\text{Si}_{0,67}$.

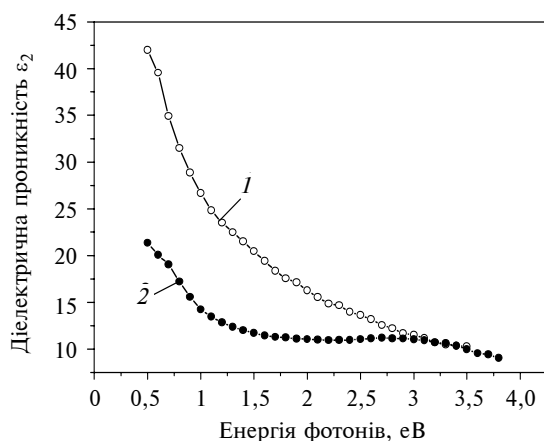


Рис. 6. Спектри діелектричної проникності $\varepsilon_2(\hbar\nu)$: 1 – плівка сплаву $\text{Ta}_{0,33}\text{Si}_{0,67}$ в аморфному стані; 2 – БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ після осадження

Отже, на підставі порівняння результатів оптичних і рентгеновських досліджень можна зробити висновок, що після одержання БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ перебуває в аморфному стані і не містить в собі кристалічних шарів Ta і Si.

У процесі відпалів в інтервалі температур 470–970 К в зразку БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ зберігається рентгеноаморфний стан (рис. 1, б–е). За результатами рентгеноструктурного аналізу, процеси кристалізації БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ спостерігаються після відпалу зразка при температурі 1070 К (рис. 1, і). На рентгенограмі з'являються рефлекси, що належать кристалічному дисиліциду TaSi_2 , інтенсивність яких зростає при збільшенні температури відпалу зразка до 1170 К (рис. 1, κ).

Резистометричні дослідження зразків БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ в цілому добре узгоджуються з результатами рентгенофазового аналізу. Зростання електроопору зразка при температурі відпалу 470 К пов'язане з початком процесів кристалізації, які є більш складними порівняно з процесами, що відбуваються у звичайних тонких плівках, а саме – завдяки утворенню твердих розчинів на межах розділу шарів танталу і кремнію. Формування кристалічної фази TaSi_2 у зразку БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ в процесі відпалів супроводжується зменшенням електроопору, тобто твердотільна реакція пройшла за всім об'ємом плівки з утворенням кінцевої фази TaSi_2 (рис. 7).

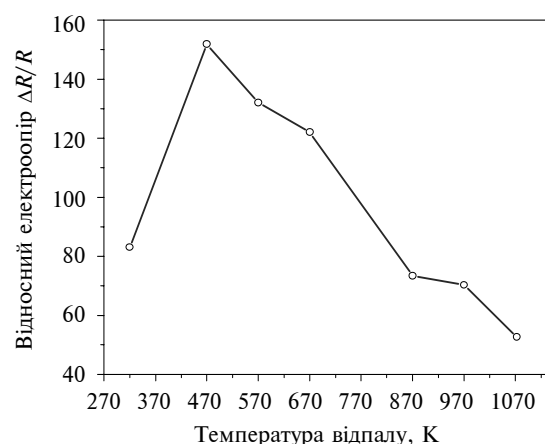


Рис. 7. Залежність електроопору зразка БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ від температури відпалу

Таким чином, як показав рентгеноструктурний аналіз, БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/$

Si(001) переходить до кристалічного стану в процесі відпалу при температурі 1070 К. Формування ж кристалічної структури дисиліциду танталу починається значно раніше.

Кристалізація БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ супроводжується значною зміною оптичних властивостей. Спектри оптичної провідності мають зовнішню подібність, піки значно зміщені по енергіях (див. рис. 2, б). У спектрі оптичної провідності БПК після відпалу досить виразно проявляються смуги міжзонного поглинання з максимумами в околі 0,8 і 2,5 еВ (див. рис. 4). Якщо смугу в околі 2,5 еВ впевнено можна віднести до головного максимуму в спектрі оптичної провідності кристалічної фази TaSi_2 (що відображає процес формування цієї фази під час відпалу БПК), то смуга в околі 0,8 еВ не є притаманною кристалічній фазі TaSi_2 . Цей факт свідчить про складну фазову структуру БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ після відпалу.

У спектрах уявної частини діелектричної проникності (див. рис. 2, а, крива 2) і оптичної провідності (див. рис. 2, б, крива 1) БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ після відпалу чітко проявляються особливості в околі 1,5 і 2,4 еВ. З порівняння спектрів $\epsilon_2(\hbar\nu)$ для кристалічної плівки сплаву $\text{Ta}_{0,33}\text{Si}_{0,67}$ (див. рис. 8, крива 1) і БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ після відпалу у вакуумі при температурі 1070 К (рис. 8, крива 2) видно, що спектр $\epsilon_2(\hbar\nu)$ для кристалічної плівки сплаву $\text{Ta}_{0,33}\text{Si}_{0,67}$ характеризується двома помітними смугами поглинання (див. стрілки), розташованими в районі 1,4 і 2,25 еВ (рис. 8, крива 1).

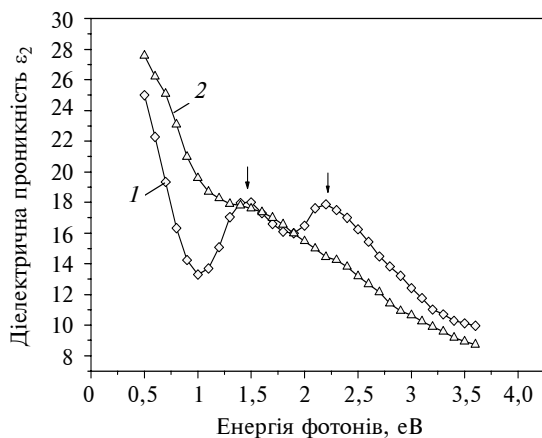


Рис. 8. Спектри діелектричної проникності $\epsilon_2(\hbar\nu)$: 1 – для кристалічної плівки сплаву $\text{Ta}_{0,33}\text{Si}_{0,67}$ [19]; 2 – БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ після відпалу у вакуумі при температурі 1070 К

Спектр $\epsilon_2(\hbar\nu)$ для БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ (рис. 8, крива 2) не має яскраво виражених смуг поглинання. Це свідчить про те, що кристалічна структура фази TaSi_2 в БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ після відпалу є менш досконалою.

В інфрачервоній ділянці спектра дійсної частини діелектричної проникності для БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ з'явилась ділянка різкого зменшення величини ϵ_1 із зменшенням енергії фотонів (рис. 9). Таку поведінку можна пояснити значним збільшенням вкладу в процеси поглинання від вільних електронів.

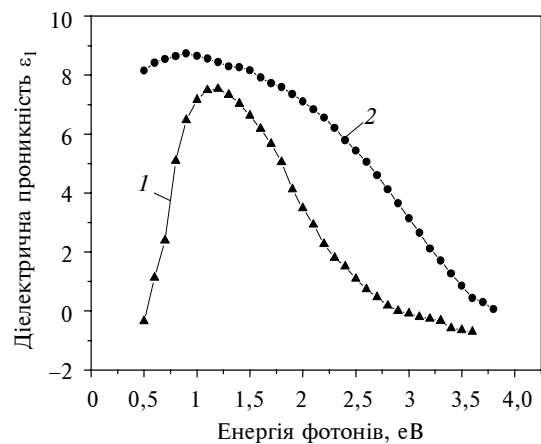


Рис. 9. Спектри $\epsilon_1(\hbar\nu)$ БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$: 1 – у кристалічному стані; 2 – в аморфному стані

Результати оптичних досліджень добре узгоджуються з результатами структурних досліджень. На підставі порівняння основних оптичних характеристик БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ і результатів рентгеноструктурного аналізу до і після відпалу, можна зробити висновок, що в процесі термічної обробки в БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ відбувається перебіг твердотільних реакцій силіцидоутворення з формуванням дисиліциду TaSi_2 за всім об'ємом нанорозмірної багатошарової періодичної плівкової композиції. Кристалічна структура TaSi_2 , сформована під час відпалу БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$, є менш досконалою, ніж та, що отримана під час кристалізації сплаву $\text{Ta}_{0,33}\text{Si}_{0,67}$.

Висновки

Порівнянням результатів рентгеноструктурного фазового аналізу та досліджень оптичних

властивостей встановлено, що БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ після осадження не є гомогенно аморфною. В процесі одержання БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ в ній формуються аморфні області із структурою ближнього порядку, подібною до аморфного сплаву $\text{Ta}_{0,33}\text{Si}_{0,67}$.

Внаслідок втрати трансляційної симетрії в дисиліциді танталу змінюються оптичні властивості та енергетичний спектр електронів. Смоги міжзонного поглинання, властиві кристалічному стану, відсутні в аморфному стані. Це свідчить про істотну зміну енергетичних станів, які формують смоги міжзонного поглинання, від атомного порядку або трансляційної симетрії.

Встановлено, що БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ переходить у кристалічний стан після відпалу при температурі 1070 К. В результаті формується дисиліцид TaSi_2 , що від-

повідає стехіометрії в об'ємі БПК $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$. Кристалізація аморфних плівок TaSi_2 веде до значного збільшення в процесі поглинання вкладу від вільних електронів.

Дослідження процесів дифузійного формування структури і фазоутворення в нанорозмірних багатошарових періодичних плівкових композиціях є важливою проблемою фізики твердого тіла – актуальною як в науковому, так і в практичному відношенні. Виконання подальшого систематичного, цілеспрямованого дослідження в цій області дозволить внести вклад у створення матеріалознавчих основ нових силіцидних нанотехнологій. Оптична спектроскопія є чутливим методом реєстрації тонких змін у структурі ближнього порядку і в подальшому буде доповнювати традиційні методи дослідження структури.

Ю.Н. Макогон, Ю.В. Кудрявцев, Е.П. Павлова,
С.И. Сидоренко, Т.И. Вербицкая

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В МНОГОСЛОЙНОЙ ПЛЕНОЧНОЙ КОМПОЗИЦИИ $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ И ЕЕ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Методами спектральной эллипсометрии, рентгеноструктурного фазового анализа, резистометрии исследовано влияние термической обработки на фазообразование в периодической (45 бислоев) многослойной пленочной композиции (МПК) $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ со средним по объему составом TaSi_2 . Установлены закономерности изменения оптических свойств и энергетического спектра электронов в результате потери трансляционной симметрии в дисилициде тантала.

Yu.M. Makogon, Yu.V. Kudryavtsev, O.P. Pavlova,
S.I. Sidorenko, T.I. Verbitska

THE INFLUENCE OF THE ANNEALINGS ON THE PHASE FORMATION IN $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ MULTILAYER FILM COMPOSITION AND ITS OPTICAL PROPERTIES

Employing the methods of spectroscopic ellipsometry, X-ray phase analysis and resistometry, we study the influence of heat treatment on the phase formation in periodic (45 bilayers) $[\text{Ta}(3,3 \text{ нм})/\text{Si}(6,6 \text{ нм})]_{45}/\text{Si}(001)$ multilayered film composition (MFC) with middle volume composition of TaSi_2 . Through experiments performed, we determine the regularities of change of the optical properties and energetic spectra of electrons as a result of translation symmetry loss in tantalum disilicide.

1. Tien H., Ottaviani G., Tu K.N. Kinetics of crystallization Ta-Si // J. Appl. Phys. – 1983. – **54**, N 12. – P. 7056–7062.
2. Maa J.-S., Magee C.W., O'Neill J.J. Phosphorus out diffusion from double-layers tantalum silicide polycrystalline silicon structure // J. Vac. Sci. B. – 1983. – **1**, N 1. – P.1–5.
3. Daneshvar K. The rapid isothermal annealing of tantalum silicide // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 1985. – **B.10/11**. – P. 529–531.
4. Natan M. Structure and properties of rapidly thermal annealed Ta/Si multilayers // J. Vac. Sci. Technol. – 1985. – B.3. – **6**. – P.1707–1714.
5. Makogon Yu.N., Maximovich L.P., Sidorenko S.I. Phase formation processes and electrical properties of tantalum-silicon thin films // Met. Phys. Adv. Tech. – 1996. – **15**. – P. 969–973.
6. Makogon Yu.N., Sidorenko S.I. The influence of annealing atmosphere on crystallization inside films of molybdenum and tungsten disilicides on silicon // Ibid. – **16**. – P. 261–268.

7. Бугаев Е.А., Макогон Ю.Н., Павлова Е.П., Сидоренко С.И. Влияние условий осаждения на структурно-фазовый состав пленок TaSi₂ на Si // Металлофизика и новейшие технологии. — 2001. — **23**, № 5. — С. 609–613.
8. Sidorenko S.I., Makogon Yu.N., Pavlova E.P. The Influence of Deposition Conditions on the Development of Solid State Reactions in the Ta-Si Thin Film System // Proceedings of the DIMAT-2000. Defect and Diffusion Forum. — 2001. — **194-199**. — P. 1643–1646.
9. Dub S., Makogon Yu., Pavlova E., Sidorenko S. Deformation Curves of Ta-Silicide Thin Films obtained in Cyclic Nanoindentation Experiments // Z. Metallkunde. — 2001. — **92**, N 9. — P. 1057–1060.
10. Дуб С.Н., Макогон Ю.Н., Павлова Е.П., Сидоренко С.И. Влияние структурно-фазового состава тонких пленок дисилицида тантала на их механические свойства // Металлофизика и новейшие технологии. — 2002. — **24**, № 1. — С. 61–73.
11. Sidorenko S.I., Makogon Yu.N., Beke D.L. et al. Formation of nanocrystalline structure of TaSi₂ films on silicon // Powder metallurgy. — 2003. — **1-2**. — P. 16–21.
12. Сидоренко С.И., Макогон Ю.Н., Дуб С.Н. и др. Исследование наноструктуры и механических свойств пленок TaSi₂ на кремнии // Металлофизика и новейшие технологии. — 2003. — **25**, № 6. — С. 737–745.
13. Uspenskii Yu. A., Fedorenko A.I., Fedotov V.Yu. et al. High-Reflectivity Multilayer Mirrors for a VUV Interval of 35–50 nm // Surface Investigation. — 1999. — **15**. — P. 103–107.
14. Бугаев Е.А., Зубарев Е.Н., Кондратенко В.В. и др. Структурные и фазовые превращения в многослойных рентгеновских зеркалах при их конденсации и отжиге // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. — 1999. — № 1. — С. 102–110.
15. Зубарев Е.Н., Кондратенко В.В., Севрюкова В.А. и др. Влияние структурного состояния слоев молибдена на образование межфазных перемешанных зон в многослойных композициях Mo/Si // Металлофизика и новейшие технологии. — 2002. — **24**, № 10. — С. 1429–1437.
16. Решетняк Е.П., Малыхин С.В., Першин Ю.П., Пугачев А.Т. Рентгенографический анализ периодических пленочных композиций W/Si // Вопр. атомной науки и техники. — 2003. — № 3. — С. 161–166.
17. Lee Y.P., Kim K.W., Kudryavtsev Y.V. et al. Solid-state reaction in Ti/Ni multilayers studied by magneto-optical and optical spectroscopies, and X-ray diffraction // Eur. Phys. Jour. B. — 2002. — **26**. — P. 41–50.
18. Аззам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет. — М.: Мир, 1981. — 584 с.
19. Поут Д., Ту К., Майер Д. Тонкие пленки: взаимная диффузия и реакции. — М.: Мир, 1982. — 576 с.
20. Технология СБИС / Под ред. С. Зи. — М.: Мир, 1986. — 454 с.

Рекомендована Радою
інженерно-фізичного факультету
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
12 січня 2009 року